

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第5期

Vol.36 No.5

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

深圳大气颗粒物中卤代多环芳烃污染研究 孙建林,常文静,陈正侠,曾辉(1513)

北京市典型餐饮企业 VOCs 排放特征研究 崔彤,程婧晨,何万清,任培芳,聂磊,徐东耀,潘涛(1523)

2006~2010年珠三角地区 SO₂ 特征分析 李菲,谭浩波,邓雪娇,邓涛,徐婉筠,冉靓,赵春生(1530)

环境空气 PM_{2.5} 连续监测系统手工采样比对测试 王强,钟琪,迟颖,张杨,杨凯(1538)

燃煤电厂可凝结颗粒物的测试与排放 裴冰(1544)

南海水域不同深度非光合微生物的固碳潜能及其对不同电子供体的响应 方峰,王磊,席雪飞,胡佳俊,付小花,陆兵,徐殿胜(1550)

基于 GOCI 影像和水体光学分类的内陆湖泊叶绿素 a 浓度遥感估算 冯驰,金琦,王艳楠,赵丽娜,吕恒,李云梅(1557)

贵州清水江流域丰水期水化学特征及离子来源分析 吕婕梅,安艳玲,吴起鑫,罗进,蒋浩(1565)

东莞石马河流域水化学特征时空差异及来源辨析 高磊,陈建耀,王江,柯志庭,朱爱萍,许凯(1573)

河南鸡冠洞洞穴水对极端气候的响应及其控制因素研究 刘肖,杨琰,彭涛,赵景耀,任小凤,张银环,聂旭东,李建仓,凌新有,张志钦(1582)

石漠化治理对岩溶地下水水化学和溶解无机碳稳定同位素的影响 肖时珍,熊康宁,蓝家程,张晖,杨龙(1590)

旱季不同土地利用类型下岩溶碳汇效应差异 赵瑞一,梁作兵,王尊波,于正良,江泽利(1598)

有机氯农药在岩溶区上覆土壤中的垂直迁移特征及对地下水的影响 孙玉川,王永启,梁作兵,袁道先(1605)

山东南四湖沉积物中汞的污染现状及迁移研究 曹霏霏,杨丽原,庞绪贵,王炳华,王云倩(1615)

摇蚊幼虫扰动下沉沉积物微环境和微界面对物理扰动强度的响应 史晓丹,李勇,李大鹏,王忍,邓猛,黄勇(1622)

南方红壤区氮湿沉降特征及其对流域氮输出的影响 郝卓,高扬,张进忠,徐亚娟,于贵瑞(1630)

不同紫色母岩对景观水体氮磷及有机物去除的影响 黄雪娇,刘晓晨,李振轮,石纹豪,杨珊(1639)

荔枝落叶对铜绿微囊藻生长和光合作用的影响 汪小雄,姜成春,李锦卫,汪晓军(1648)

黄连根茎浸提物对绿藻的毒理作用 陈亚楠,袁玲(1655)

饮用水中消毒副产物 1,1-二氯丙酮的形成机制 丁春生,孟壮,徐洋洋,缪佳(1662)

水中利谷隆氯化降解动力学和消毒副产物生成特性 凌晓,胡晨燕,程明,谷建(1668)

化学消毒的中和剂对水中内毒素活性检测的影响 张灿,刘文君,史文,安代志,白森,徐稳(1674)

牛粪生物炭对水中氨氮的吸附特性 马锋锋,赵保卫,刁静茹,钟金魁,李安邦(1678)

丁二酸改性茶油树木屑吸附附的研究 张晓峰,陈迪云,彭燕,刘永胜,熊雪莹(1686)

SPG 膜表面润湿性对膜污染和化学耐受性的影响 张静,肖太民,张晶,曹丽亚,杜亚威,刘春,张磊(1694)

TiO₂ 诱导下左旋氧氟沙星的可见光降解及其机制 郭宏生,刘亚楠,乔琪,魏红,董呈幸,薛洁,李克斌(1700)

新型高分子絮凝剂对废水中 Cr(VI) 的捕集性能 王刚,杜凤龄,常青,徐敏(1707)

基于 OUR-HPR 测量在线估计活性污泥合成 PHA 量 曾善文,王泽宇,高敬,刘东,张代钧,卢培利(1713)

分离高浓度污泥产酸发酵液的自生动态膜形成机制 黄帅,刘宏波,殷波,马惠君,符波,刘和,白洁(1720)

通风强度对市政污泥生物干化中试效果的影响 张喻,韩融,陆文静,王洪涛,明中远,王强,夏伟(1727)

生物可降解螯合剂谷氨酸 N,N-二乙酸四钠对污泥中重金属萃取效率的研究 吴青,崔延瑞,汤晓晓,杨慧娟,孙剑辉(1733)

百乐克(BIOLAK)活性污泥宏基因组的生物多样性及功能分析 田美,刘汉湖,申欣,赵方庆,陈帅,姚永佳(1739)

异养硝化-好氧反硝化菌 YL 的脱氮特性 梁贤,任勇翔,杨垒,赵思琪,夏志红(1749)

菌株 *Arthrobacter* sp. CN2 降解对硝基苯酚的特性与动力学 任磊,史延华,贾阳,姚雪松,Ruth Nahurira,弥春霞,闫艳春(1757)

短短芽胞杆菌及其芽胞对苾的降解 刘芷辰,叶锦韶,彭辉,刘则华,邓庭进,尹华,廖丽萍(1763)

垃圾填埋场抗生素抗性基因初探 李蕾,徐晶,赵由才,宋立岩(1769)

不同构型人工湿地基质中土著菌的耐药性及整合子丰度调查 麦晓蓓,陶然,杨扬,张敏,林剑华,满滢(1776)

硝酸盐和甲烷对覆土中苯系物厌氧氧化的影响 柳蓉,龙焰,王立立,何婷,叶锦韶(1785)

山西高原落叶松人工林土壤呼吸的空间异质性 严俊霞,李洪建,李君剑,武江星(1793)

施氮对黄土旱塬区春玉米土壤呼吸和温度敏感性的影响 姜继韶,郭胜利,王蕊,刘庆芳,王志齐,张彦军,李娜娜,李如剑,吴得峰,孙棋棋(1802)

宣威街道尘中重金属的分布特征及其健康风险评估 张文超,吕森林,刘丁或,刘品威,米持真一,王效举,王青耀(1810)

宝鸡市街道尘埃磁学特征空间分布及环境意义 张俊辉,王瑾,张健,房妮,夏敦胜(1818)

长期施肥下浙江稻田不同颗粒组分有机碳的稳定特征 毛霞丽,陆扣萍,孙涛,张小凯,何丽芝,王海龙(1827)

矿区植被恢复方式对土壤微生物和酶活性的影响 李君剑,刘峰,周小梅(1836)

三江平原典型湿地类型土壤微生物特征与土壤养分的研究 肖焯,黄志刚,武海涛,吕宪国(1842)

钠盐类型对表面活性剂清洗煤油污染土壤的强化效应 黄昭露,陈泉源,周娟,谢墨函(1849)

石油污染土壤的生物修复技术及微生物生态效应 杨茜,吴蔓莉,聂麦茜,王婷婷,张明辉(1856)

可生物降解螯合剂 GLDA 诱导东南景天修复重金属污染土壤的研究 卫泽斌,陈晓红,吴启堂,谭蒙(1864)

绿洲土 Pb-Zn 复合胁迫下重金属形态特征和生物有效性 金诚,赵转军,南忠仁,王胜利,武文飞,王厚成(1870)

硫酸对水稻根系铁锰胶膜形成及吸收的影响 王丹,李鑫,王代长,饶伟,杜光辉,杨军,化党领(1877)

臭氧对几种楠木气体交换参数的影响 李苗苗(1888)

某货车侧翻水污染事件的环境损害评估方法探索 蔡锋,赵士波,陈刚才,鲜思淑,杨清玲,周贤杰,余海(1902)

《环境科学》征订启事(1543) 《环境科学》征稿简则(1756) 信息(1667,1726,1809,1848)

宝鸡市街道尘埃磁学特征空间分布及环境意义

张俊辉¹, 王瑾¹, 张健^{2,3}, 房妮¹, 夏敦胜⁴

(1. 宝鸡文理学院陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 宝鸡 721016; 2. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 3. 西北大学丝绸之路研究院, 西安 710069; 4. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 对宝鸡市街道尘埃样品进行详细系统环境磁学实验分析并结合扫描电子显微镜研究表明, 宝鸡市街道尘埃中磁性矿物含量高, 主要的磁性矿物为多畴和假单畴的低矫顽力亚铁磁性矿物, 同时含有少量的赤铁矿等高矫顽力的硬磁性矿物. 污染来源主要以工业和交通等人为污染为主. 街道尘埃的磁学特征表现出一定的空间变化规律揭示出污染的空间分布, 划分为6个主要区域: A(创新路到高新八路区域)和B(东风路和马营路区域), 磁性物质含量整体很高, 揭示污染相对较重, 污染源主要为“工业+交通”; C区(火炬路到医康区域)磁性物质含量相对较高, 是中度污染的区域, 污染源主要为“交通”; D(经二路与人民路区域)、E(清姜路和姜谭路西部区域)和F(陈仓区虢镇), 磁性物质含量相对较低, 揭示轻度污染, 污染源主要为“交通”.

关键词: 街道尘埃; 磁学特性; 空间分布; 污染; 宝鸡市

中图分类号: X169; X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)05-1818-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.05.042

Spatial Distribution of Magnetic Properties of Street Dust in Baoji City and Its Implications of Environment

ZHANG Jun-hui¹, WANG Jin¹, ZHANG Jian^{2,3}, FANG Ni¹, XIA Dun-sheng⁴

(1. Shaanxi Key Laboratory of Disasters Monitoring & Mechanism Simulation, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721016, China; 2. College of Urban and Environment, Northwest University, Xi'an 710127, China; 3. Institute of Silk Road Studies, Northwest University, Xi'an 710069, China; 4. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Magnetic characteristics of street dust can reflect important information of environmental conditions. Environmental magnetic measurements were carried out on the samples of street dust in Baoji City. The results indicated a high concentration of magnetic minerals in street dust, dominated by multiple domain (MD) and pseudo-single domain (PSD) ferrimagnetic minerals which were mainly from the traffic and industrial pollution. According to the Spatial Distribution of Magnetic Properties of Street Dust, Baoji City was divided into six districts (A, B, C, D, E and F areas). In the A (Chuangxin road and Gaoxin road eight) and B (Dongfeng road and Maying road) areas, χ_{if} , SIRM and soft values were the highest in the six areas and much higher than the average values and background values, indicating heavy pollution. The pollution sources were industry and vehicles. χ_{if} , SIRM and soft values were relatively high in the C (Huoju road and Yikang road) area, indicating moderate pollution. The pollution source was vehicles. However, the magnetic parameters were lower than the average values and background values in D (Jinger road and Renmin road), E (Qingjiang road and Jiangtan road) and F (Chencang road) area, suggesting mild pollution. The pollution was caused by vehicle emission.

Key words: street dust; magnetic properties; spatial distribution; pollution; Baoji City

城市街道尘埃是城市环境的重要污染源, 同时也是污染物质在城市环境中传播的重要介质. 大气中悬浮粒子的沉降物和经过重新迁移的土壤, 城市工业生产、交通运输、建筑施工、日常生活等活动, 这些自然和人为源都是街道尘埃的直接贡献者. 街道尘埃很难在一定位置堆积较长时间, 很容易再次悬浮到大气气溶胶中, 在降水冲刷作用下, 对街道径流及城市土壤、水环境等造成持续污染, 因此, 街道尘埃是环境污染研究中的重要对象. 当前的研究主要集中在街道尘埃地球化学元素(主要为重金属)种类、含量、污染程度和源解析^[1-10], 与传统的化

学分析手段相比较, 简单、经济、快速、对样品量需求少以及对样品无破坏性的环境磁学方法越来越多地应用在街道尘埃的研究中^[11-14]. 由于街道尘埃中不同来源的磁性物质具有不同的磁学特性, 而其磁学特性又与重金属等污染程度紧密相关, 用来指示其污染状况^[15-21], 这就为运用磁学手段进行街道尘埃的污染研究奠定了良好的基础.

收稿日期: 2014-10-14; 修订日期: 2015-01-14

基金项目: 陕西省教育厅科研计划项目(12JK0476)

作者简介: 张俊辉(1978~), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向环境磁学与全球变化, E-mail: bwlzjh@126.com

宝鸡市位于关中平原西部,西安以西约 180 km,东经 $106^{\circ}18' \sim 108^{\circ}03'$,北纬 $33^{\circ}35' \sim 35^{\circ}06'$,市区人口约 140 万,是陕西省的第二大城市,也是陕西省的一个重工业城市,现有冶金、采矿、机械加工、化工、电力、纺织、有色金属等 35 个工业门类。同时,宝鸡也是西部的一个重要交通枢纽,是西去和南去的交通要塞。近年来,宝鸡的工业(尤其是机械制造、电子技术、桥梁制造,有色金属加工、冶金等)、商业、交通、建筑以及城市发展速度非常迅速。本文以宝鸡市街道降尘为研究对象,首次系统分析了宝鸡市街道尘埃中磁性物质的含量、种类以及颗粒大小等特征,分析了宝鸡市街道尘埃磁学特征的空间分布规律,并对磁性污染物的来源作了深入的探讨与分析,揭示了不同区域的污染现状和污染程度,以期为改善和治理宝鸡市城市环境提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品收集与处理

为了解街道尘埃磁学特征空间变化规律,在宝鸡市区主干道(中山路、经二路、东风路、马营路、公园路、火炬路、宝光路、高新大道、滨河路、姜谭路、清姜路、红旗路、陈仓大道等)均匀选择样品采集点,共收集样品 67 个(图 1)。街道尘埃收集选择一段(12 d)无雨日后收集样品,采样期间无雨(2013 年 8 月 15 日),街道尘埃干燥。街道尘埃参照国外相关研究,在选定的采样点,将街道尘埃用刷子刷入塑料簸箕中(以避免金属污染),然后装入塑料袋密封,并标注采样日期与采样点特征,带回实验室进一步自然晾干。将采集的样品过 1 mm 的塑料筛,以剔除样品中碎屑、砾石类物质、植物根系和其它废料。同时采集宝鸡市北坡黄土(S_0)作为背景值与街道尘埃磁学数据进行对比,共采集样品 5 个。

1.2 实验方法

低频(470 Hz)磁化率(χ_{lf})与高频(4 700 Hz)磁化率(χ_{hf})用 Bartington 公司生产的 MS2 型磁化率仪测定,并计算频率磁化率 $\chi_{fd} = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \times 100$,凡本研究中提到的磁化率均指低频磁化率。用 LDA-3 交变退磁仪和 Minispin 旋转磁力仪测量非磁滞剩磁(ARM),使用最大交流场为 100 mT,外加直流场为 0.05 mT,计算出非磁滞磁化率(χ_{ARM})。用 Molspin 脉冲磁化仪和旋转磁力仪测量样品的等温剩磁(IRM)和饱和等温剩磁(SIRM),SIRM 外加磁场强度为 1 000 mT,并定义软剩磁 $soft = (SIRM -$

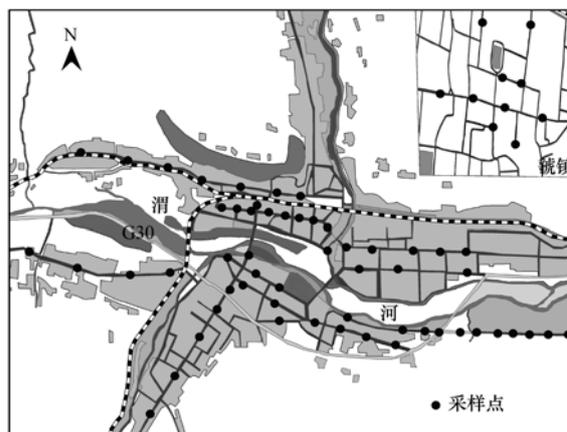


图 1 宝鸡市街道尘埃采样点示意

Fig. 1 Sampling sites of street dust in Baoji City

$IRM_{-20mT}) / 2$ 和硬剩磁 $HIRM = (SIRM + IRM_{-300mT}) / 2$, $S\text{-ratio} = -IRM_{-300mT} / SIRM$ 。磁滞参数包括饱和磁化强度(M_s)、饱和剩余磁化强度(M_{rs})、矫顽力(B_c)、剩磁矫顽力(B_{cr})以及 FORC 图均用美国 Princeton Measurements 公司生产的 MicroMag3900 型变梯度磁力仪测量。磁学的磁性颗粒进行扫描电子显微镜(SEM)观察。以上实验分别在兰州大学西部环境与教育部重点实验室和中国科学院地质与地球物理研究所古地磁与年代学实验室测试完成。

2 结果与分析

2.1 磁学实验结果

2.1.1 磁性矿物浓度变化

磁化率作为环境磁学参数最常用的基本磁学参数之一,当样品中磁性颗粒的粒径变化不大时,其大小主要反映了样品中亚铁磁性(如磁铁矿)的含量^[22]。宝鸡市街道尘埃磁学参数变化(表 1): χ_{lf} 值总体偏高,平均值为 $495.53 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,变化范围在 $183.64 \sim 1\,330.54 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。样品磁化率值均大于背景土壤值,平均值已超过背景值 10 倍之多,表明宝鸡街道尘埃磁性物质的浓度很大。SIRM 和 χ_{ARM} 等参数主要与磁性矿物含量和粒径大小有关,其中 SIRM 不受顺磁性和抗磁性物质的影响,主要由亚铁磁性和不完全反铁磁性矿物所贡献^[23];而 χ_{ARM} 则反映 SSD 和细粒级假单畴(PSD)亚铁磁性矿物含量^[24,25];SIRM 和 χ_{ARM} 的平均值分别为: $6\,174.21 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $653.25 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$,同样也都远高于背景值,表明磁性矿物的含量很高。

HIRM 可用于检测高矫顽力磁性矿物(如赤铁

矿和针铁矿)的浓度,而 S-ratio 用来判断亚铁磁性矿物(如磁铁矿、磁赤铁矿)和高矫顽力矿物的相对丰度,当 S-ratio 接近 1 时,亚铁磁性矿物占主导地位,赤铁矿(针铁矿)的浓度增加时, S-ratio 则逐步降低^[24,25]. 街道尘埃样品的 HIRM 变化范围为 $3.31 \sim 216.71 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $78.23 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$. S-ratio 值变化范围为 0.77 ~ 0.99, 平均值为 0.96, 大于土壤的值 0.92, 表明低矫顽力软磁性矿物主导. soft 近似反映磁铁矿含量,尤其是多畴(MD)和超顺磁(SP)、稳定单畴(SSD)边界范

围的低矫顽力磁性颗粒含量,因此,soft 基本不受不完全反铁磁性矿物的影响,soft 同样可以用来指示低矫顽力亚铁磁性矿物的贡献^[24,25], 变化范围为 $569.37 \sim 7409.48 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值为 $2081.02 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 高于背景值 10 余倍. S-ratio、soft 和 HIRM 高值均表明磁性矿物的富集. 对宝鸡市街道尘埃重金属研究结果同样表明,街尘中重金属元素含量分别是世界、中国、陕西土壤元素背景值的 12 ~ 20、10 ~ 80、16 ~ 60 倍,反映受人类活动影响较大^[26].

表 1 宝鸡市街道尘埃样品的基本磁学参数

项目	$\chi_{\text{ir}} \times 10^{-8}$ / $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$\chi_{\text{hf}} \times 10^{-8}$ / $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	χ_{fd} /%	$\chi_{\text{ARM}} \times 10^{-8}$ / $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	SIRM $\times 10^{-5}$ / $\text{Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	B_{cr} /mT	soft $\times 10^{-5}$ / $\text{Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	HIRM $\times 10^{-5}$ / $\text{Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	S-ratio	$\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ $\times 10^{-3}/\text{mA}^{-1}$
最大值	1330.54	1324.21	3.96	2832.34	19199.87	50.3	7409.48	216.71	0.99	0.71
最小值	183.64	181.19	0.04	191.32	1888.92	27.3	569.37	3.31	0.77	0.05
平均值	495.53	489.17	1.24	653.25	6174.21	34.2	2081.02	78.23	0.96	0.11
背景值	33.45	30.27	2.25	103.54	102.32	29.7	153.41	26.52	0.92	0.31

2.1.2 IRM 曲线

等温剩磁不受顺磁性和抗磁性物质的影响,主要由亚铁磁性矿物和不完整反铁磁性矿物所贡献^[27],等温剩磁获得曲线及其反向场退磁特征都是识别磁性矿物种类的重要参数^[28]. 所有代表性样品在外加磁场强度 100 mT 之前,IRM 值随着外加磁场的增强而不断增大,在 100 mT 外加磁场状态下可

达饱和值的 60% 左右,在 300 mT 均可达 90% 以上,在 1000 mT 时已基本达到饱和[图 2(a)],表明软磁性的亚铁磁性矿物(磁铁矿、磁赤铁矿)是样品剩磁的主要载体^[27]. 代表性样品反向磁场退磁结果表明, B_{cr} (剩磁矫顽力)变化范围基本在 30 mT 附近[图 2(b)],表明均以低矫顽力的磁性矿物为主.

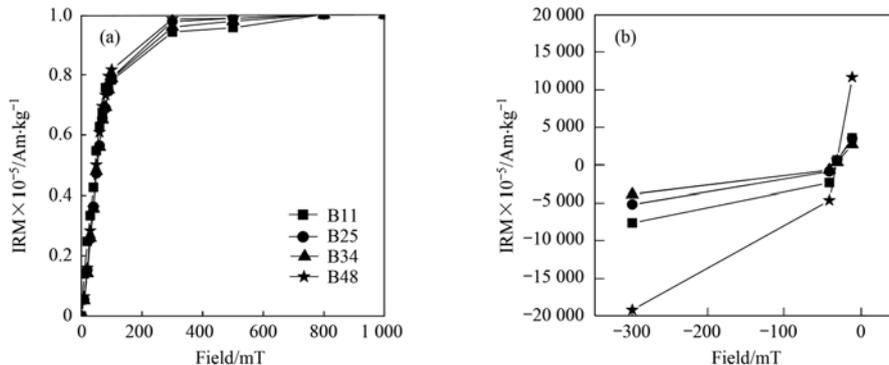


图 2 代表性样品的 IRM 曲线和 B_{cr} 曲线

Fig. 2 IRM and B_{cr} curves for the representative street dust samples

2.1.3 磁滞回线(hysteresis loop)

磁滞现象是用来描述铁磁性与亚铁磁性物质在脉冲直流场中所获得的剩余磁化强度与外加磁场强度间的相互关系. 磁性矿物成分不同的物质,磁滞特征大不相同,因此,可以利用磁滞回线特征鉴别铁磁性矿物^[24,25]. 磁滞回线闭合处的磁场强度可以指示主导磁滞行为的磁性矿物. 图 3 显示,代表性样品的磁滞回线均表现出明显的细腰的变化特征,磁化强度均在 200 mT 之前快速增强,之后增强的速率

减小,表明软磁性矿物是样品的主要载磁矿物. 代表性样品的 M_s (饱和磁化强度)值分别为 $1.115 \times 10^{-4} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $5.28 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, M_{rs} (饱和剩余磁化强度)值为 $8.15 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $8.15 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, M_{rs}/M_s 的比值均为 0.73, B_c (矫顽力)值分别为 6.92 mT 和 7.18 mT, B_{cr} 值分别为 25.09 mT 和 26.80 mT, B_{cr}/B_c 值分别为 3.63 和 3.73(图 3),进一步表明磁性矿物为粗颗粒的低矫顽力的亚铁磁性矿物^[24].

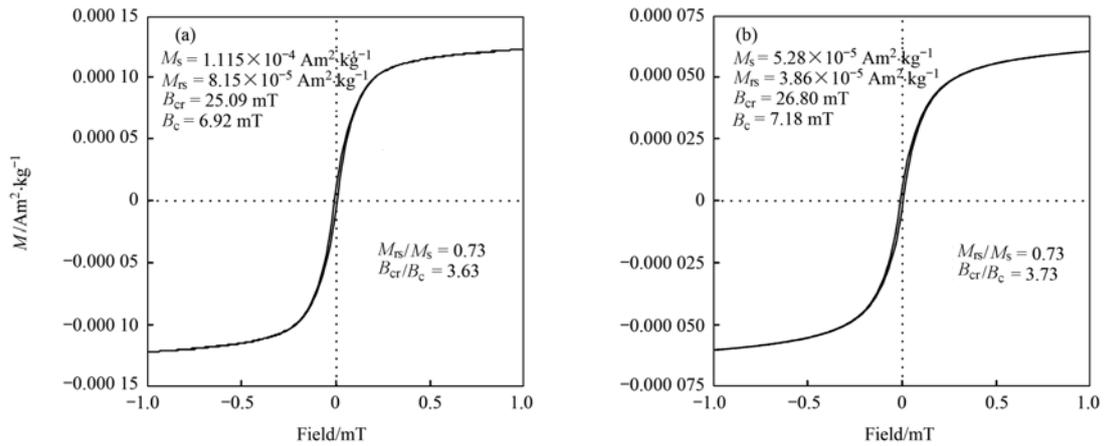


图 3 代表性样品的磁滞回线
Fig. 3 Hysteresis loops for the representative street dust samples

2.1.4 FORC 图

FORC (First-Order Reversal Curve) 图不但可以帮助区分磁性矿物的种类和磁畴状态,而且还可以确定磁性矿物矫顽力的分布以及磁性矿物颗粒之间

磁相互作用的强弱^[29~31]. 代表性样品 FORC 图等值线沿着纵轴具有大开口的特征,且其中心矫顽力小于 10×10^{-3} T (图 4),表明街道尘埃样品中磁性矿物主要为 MD 磁铁矿颗粒^[32,33].

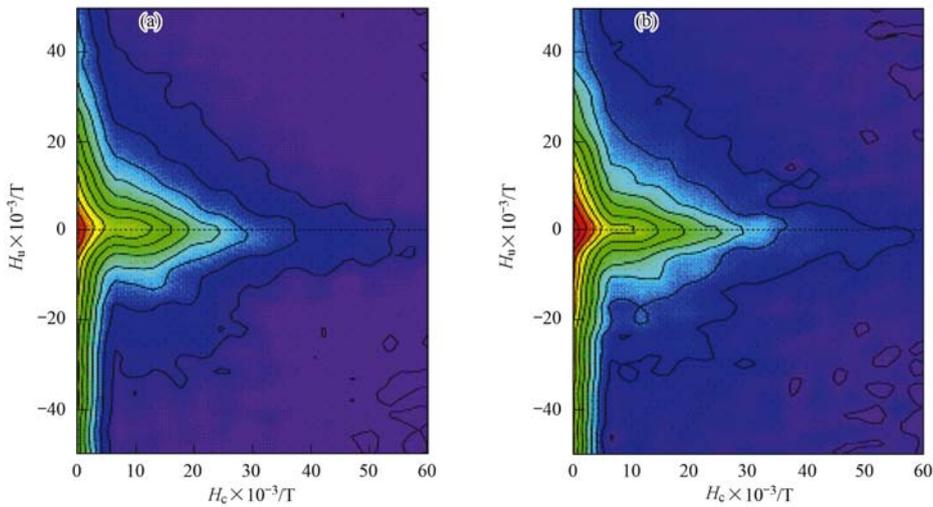


图 4 代表性样品的 FORC 图
Fig. 4 FORC diagrams for the representative samples of street dusts

2.2 电子扫描电镜 SEM

扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM) 能够帮助更直观地了解物质的形态和结构特征. 宝鸡市街道尘埃代表性样品磁性颗粒的 SEM 实验结果观察表明,这些球粒状颗粒表面光滑完整,颗粒“直径”大小 $> 10 \mu\text{m}$ (图 5),明显为粗颗粒的磁铁矿,这是化石燃料高温燃烧过程形成的特有结构^[34],而且在 50、200 和 500 μm 情况下 (图 5),出现越来越多球粒状颗粒的特征,同时也伴随有磁性颗粒物相对较小,形状不规则的磁铁矿,这可能是由于自然过程而产生.

3 讨论

3.1 宝鸡市街道尘埃磁学特征

宝鸡市街道尘埃的 χ_{ir} 和 SIRM 具有良好的相关性 ($r=0.87$) [图 6(a)], χ_{ir} 和 soft 同样具有良好的相关性 ($r=0.88$) [图 6(b)], 反而与 HIRM 相关性较差 ($r=0.094$) [图 6(c)], 表明磁化率主要是由亚铁磁性矿物所控制,同时含有不完全反铁磁性矿物. 通过代表性样品的 IRM 曲线、Loop 曲线、FORC 图及 S-ratio 值等分析表明,样品中含有的磁性矿物主要为低矫顽力的软磁性矿物磁铁矿和磁赤

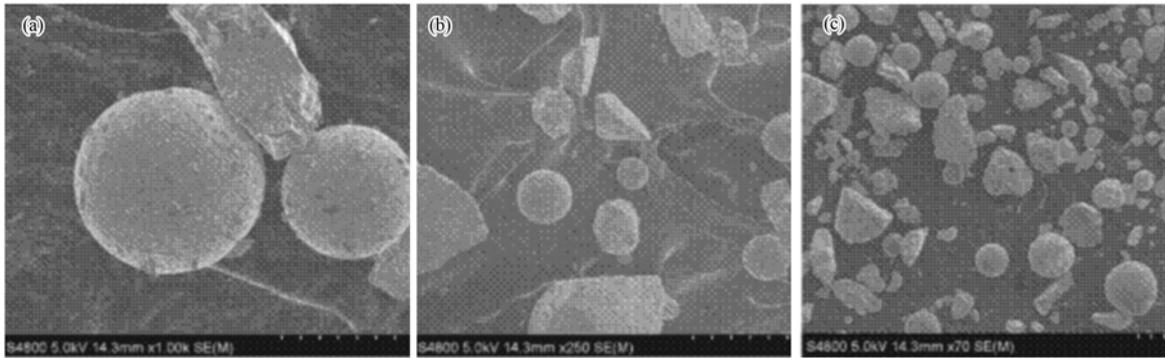
(a) 50 μm ; (b) 200 μm ; (c) 500 μm

图 5 代表性样品的扫描电子显微镜

Fig. 5 Scanning electron microscopic images for the representative samples of street dusts

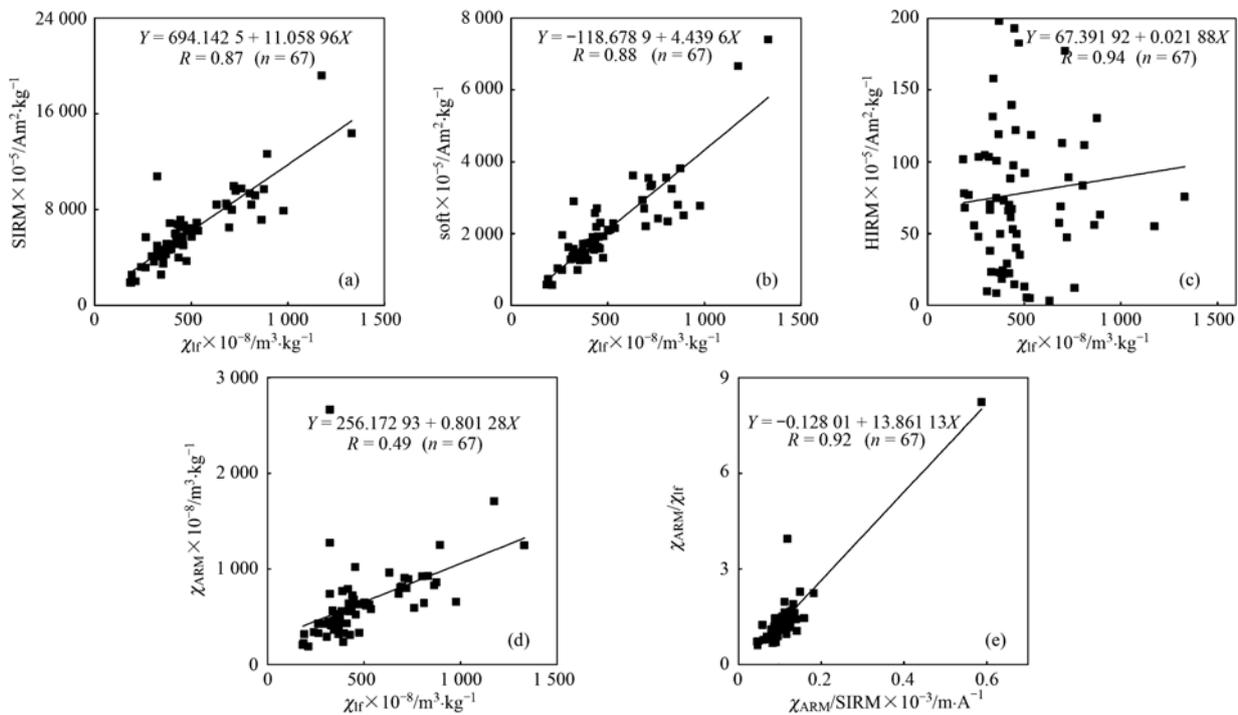


图 6 磁学参数相关性分析

Fig. 6 Correlations of magnetic parameters

铁矿, 伴随有高矫顽力的不完全反铁磁性矿物赤铁矿。

χ_{fd} 对 SP 颗粒非常灵敏, χ_{fd} 通常只能反映 SP/SD 颗粒界限附近一有限区间内磁性颗粒对磁化率的贡献。宝鸡市街道尘埃样品的 χ_{fd} 变化范围在 0.04 ~ 3.96, 平均值为 1.24, 表明样品中含有的细颗粒很少, 而 χ_{ARM} 与 χ_{IR} 并没有显著的相关性 ($r = 0.49$) [图 6(d)], 也表明了 SD 颗粒含量较少。 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{IR}}$ 比值可以表征样品颗粒的相对大小。与细颗粒 (SD 或者较细的 PSD) 磁铁矿相比, 粗颗粒 (较粗的 PSD 或 MD) 磁铁矿的 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 比值相对较高。

$\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 和 $\chi_{\text{ARM}}/\chi_{\text{IR}}$ 具有良好的相关性 [图 6(e)], 表明样品中粗颗粒的物质为主。Dearing 图 (图 7) 进一步表明, 磁性矿物的磁畴主要为粗颗粒的 MD + PSD (准单畴), 这与 FORC 图和 SEM 实验结果一致, 表明宝鸡市街道尘埃样品磁性矿物的磁畴主要由粗颗粒的 MD 和 PSD 组成。

3.2 宝鸡市街道尘埃磁性物质来源、空间分布规律与环境意义

城市道路尘埃磁性物质来源一般可以分为自然源和人为源, 自然源的磁性物质主要来源于道路附近的土壤、河道沉积物和岩体风化物中的磁性矿

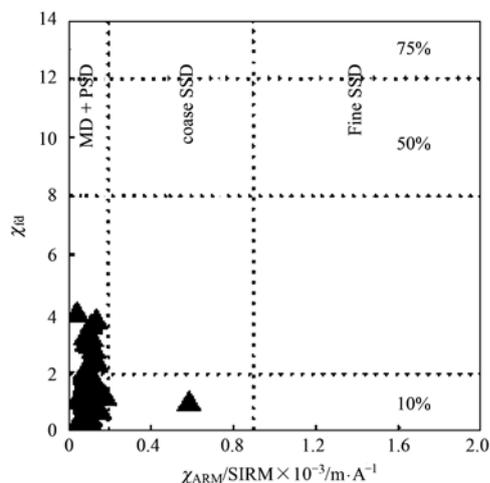


图7 街道尘埃的 Dearing 图

Fig. 7 Dearing diagrams of street dust

物; 而人为源通常指人为的输入, 包括一系列静止源和运动源, 比如发电厂、钢铁厂、汽车(包括为其排放、轮胎和刹车磨损与车体腐蚀等)、道路表面摩擦以及剥蚀物、居民生活燃料、垃圾燃烧和建筑材料等. 这些不同来源的尘埃携带重金属和磁性物质, 成为街道尘埃最主要的污染来源. 宝鸡市作为一个工业城市, 市区分布着诸如钢管厂、电厂、烟厂、机械厂等众多重工业企业. 因此将反映磁性矿物浓度(χ_{IR} 和 SIRM)、低矫顽力软磁性矿物浓度 (soft) 和磁性矿物磁畴大小 ($\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$) 这 4 个主要的磁学参量投影到城市坐标图上, 观察发现, 磁学参量在不同区域表现出明显的空间变化特征, 根据磁学参数在不同区域变化特征, 将宝鸡市区街道尘埃磁学参数的空间变化划分为 6 个主要区域 (图 8).

A 区 (创新路到高新八路区域): 该区域街道尘埃的 χ_{IR} 的平均值为 $718.05 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 是平均值的将近 20 倍, 同时也是所有区域中磁化率最高的. SIRM 的平均值为 $7909.40 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 为背景值的将近 70 倍之多. soft 的平均值为 $3022.59 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, 为背景值的 20 倍, $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 的平均值为 $0.096 \times 10^{-3} \text{ mA}^{-1}$, 表明磁性矿物的颗粒偏粗. 综合 χ_{IR} 、SIRM 和 soft 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 参数, 创新路到高新八路这个区域的街道尘埃磁性矿物含量是最高的, 因此被认为是污染程度最为严重的区域. 对于该区域来说污染源较多, 一方面受到交通污染的影响, 另外本区域分布着烟厂、钢管厂、钛厂等重工业企业, 且相对集中, 所以工业污染是本区域另外一个主要的污染源, 同时本区域也是宝鸡市的一

个商业圈和教育中心, 也是近几年宝鸡市城市建设最为迅速的区域, 所以车流量、人流量和建筑活动等都相对较多, 对环境造成的污染也不容忽视.

B 区 (东风路和马营路区域): 该区域街道尘埃的 χ_{IR} 的平均值为 $704.82 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, SIRM 的平均值为 $8821.51 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$. soft 的平均值为 $2639.21 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 的平均值为 $0.092 \times 10^{-3} \text{ mA}^{-1}$, 其中 χ_{IR} 、soft 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 值略低于 A 区域, 而 SIRM 值高于 A 区域, 对该区域来说, 主要污染源一方面来源于交通污染的影响, 而且这一区域位于高速路延伸段, 各种类型车辆很多; 另外本区域分布着烟厂、石油机械厂等大型重工业企业, 分布较为聚集, 所以工业污染同样也本区域另外一个重要的污染源. 因此, 由于污染源多而且污染严重, A 和 B 区域的污染程度都较高.

C 区 (火炬路到医康区域): χ_{IR} 的平均值为 $498.90 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, SIRM 的平均值为 $6465.50 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, soft 的平均值为 $2167.96 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ [图 8(c)], $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 的平均值为 $0.096 \times 10^{-3} \text{ mA}^{-1}$, 这一区域 χ_{IR} 、soft 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 值明显小于 A 和 B 区域, 主要污染源一方面受到交通污染的影响, 另外与分布的工业相对较少有关, 因此污染程度相对较轻.

D 区 (经二路与人民路区域): χ_{IR} 的平均值为 $329.45 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, SIRM 的平均值为 $4100.55 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, soft 的平均值为 $1287.38 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 的平均值为 $0.105 \times 10^{-3} \text{ mA}^{-1}$, 这一区域 χ_{IR} 、soft 和 $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 值明显最小, 经二路作为宝鸡市主要的商业圈, 污染源主要为交通污染和人类活动, 在该区域大型货车等是限行的, 因此与 A、B、C 这 3 个有工业分布的区域相比较, 城市街道颗粒物相对就要少很多.

E 区 (清姜路和姜谭路西部区域): χ_{IR} 的平均值为 $386.41 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, SIRM 的平均值为 $4290.81 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, soft 的平均值为 $1889.57 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 的平均值为 $0.108 \times 10^{-3} \text{ mA}^{-1}$, 该区域虽然也有工业分布, 但是其对街道尘埃的贡献较小, 这可能与热电厂从该区域迁出有很大关系, 因此整体上磁性物质浓度不是很高.

F 区 (陈仓区虢镇): χ_{IR} 的平均值为 $385.87 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, SIRM 的平均值为 $4555.41 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, soft 的平均值为 $1601.67 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$, $\chi_{\text{ARM}}/\text{SIRM}$ 的平均值为 0.17×10^{-3}

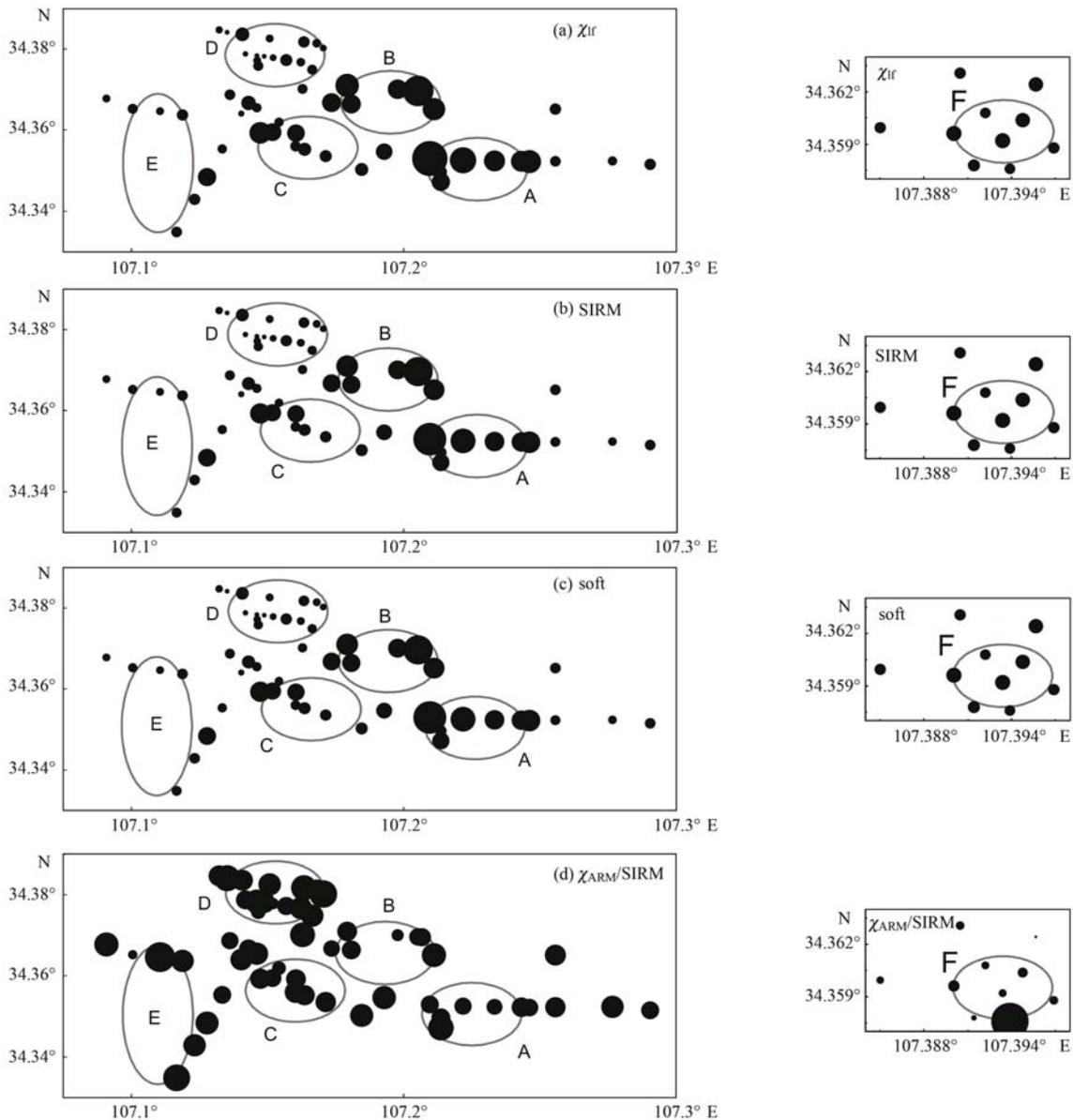


图 8 磁学参数空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of magnetic parameters

mA^{-1} , 由于陈仓区距离宝鸡市中心相对偏东, 车流相对较少, 工业分布相对分散, 污染源相对单一, 街道尘埃磁性物质浓度也相对较小。

研究表明, 城市表土、街道尘埃等颗粒物的磁学参数与重金属元素之间既有相同的来源, 又具有良好的相关性, 另外由于街道是城市磁性颗粒污染物最为集中的地区, 其磁学参数的含量和浓度要高于居民区等区域的表土的数值, 因此尝试用不同区域磁学参数来揭示宝鸡市主要交通干道污染程度依然具有较强的科学性和可信性。A 和 B 区域, χ_{ir} 、SIRM 和 soft 数值远大于平均值、大于背景值, $\chi_{ARM}/SIRM$ 小于平均值, 因此这两个区域被认为是污染相

对较重的区域, 称为重污染区域(表 2), 污染源主要为“工业和交通”; C 区, χ_{ir} 、SIRM 和 soft 数值略高于平均值, 被认为是中度污染的区域(表 2), 污染源主要为“交通”; D、E 和 F 区域, χ_{ir} 、SIRM 和 soft 数值低于平均值, 3 个区域的 $\chi_{ARM}/SIRM$ 平均值又高于宝鸡市的平均值, 因此这个区域被认为是轻度污染的区域(表 2), 污染源主要为“交通”。当然, 6 个区域除主要的污染为人为源之外, 还伴随着自然源的污染, 但其相对污染程度较低。而根据对宝鸡市不同街道重金属(Zn、Cd、Cu、Pb、Mn 和 Co)污染源的分析认为主要为工业和交通, 部分的重金属(Ni 和 Cr)可能来自于土壤等自然源, As 和 Hg 高值

主要分布在东风路、马营路, 由于对高新大道采样较少没有重金属相关研究数据, 而低值主要分布在清姜路、姜谭路和中山路^[35], 这与磁学参数揭示的

空间分布特征具有极大的相似性和一致性, 有力地支持了街道尘埃磁学参量对宝鸡市城市污染的研究结论。

表 2 宝鸡市不同区域街道尘埃主要磁学参数(χ_{if} 、SIRM、soft 和 $\chi_{ARM}/SIRM$) 的平均值与全市平均值的比较和环境污染程度

Table 2 Comparison of average values for the main magnetic parameters (χ_{if} , SIRM, soft and $\chi_{ARM}/SIRM$) among different districts and the whole city and its implications of environment pollution

区域	$\chi_{if} \times 10^{-8}$ / $m^3 \cdot kg^{-1}$	SIRM $\times 10^{-5}$ / $Am^2 \cdot kg^{-1}$	soft $\times 10^{-5}$ / $Am^2 \cdot kg^{-1}$	$\chi_{ARM}/SIRM \times 10^{-3}$ / mA^{-1}	污染程度
A	718.03	7 909.40	3 022.60	0.10	重度污染
B	704.82	8 821.51	2 639.21	0.09	重度污染
C	498.90	6 465.50	2 167.96	0.10	中度污染
D	329.45	4 100.5	1 287.38	0.10	轻度污染
E	386.41	4 290.81	1 889.57	0.11	轻度污染
F	385.87	4 555.41	1 601.67	0.17	轻度污染
全市平均值	495.53	6 174.21	2 081.02	0.11	轻度污染

4 结论

(1) 本文以环境磁学方法为主, 结合 SEM 等方法对宝鸡市街道尘埃的磁学性质进行了详细研究. 街道尘埃的磁性矿物浓度很高, 磁性矿物主要由粗颗粒(MD 和 PSD)的软磁性亚铁磁性矿物所主导, 如磁铁矿和磁赤铁矿, 同时含有少量的赤铁矿等高矫顽力的硬磁性矿物. 其污染来源主要以工业和交通为主, 但也伴随有自然的污染源.

(2) 宝鸡市街道尘埃的磁学特征表现出一定的空间变化规律, 根据其变化特征, 将宝鸡市污染的空间分布划分为 6 个主要区域: A(创新路到高新八路)和 B(东风路和 马营路)区域, 磁性物质浓度整体很高, 揭示污染相对严重, 称为重度污染区域, 污染源主要为“工业 + 交通”; C 区(火炬路到姜谭路东部)区域认为是中度污染的区域, 污染源主要为“交通”; D(经二路与人民路)、E(清姜路和姜谭路西部)和 F(陈仓区虢镇)区域, 磁性物质浓度相对较低, 揭示出轻度污染, 污染源主要为“交通”.

参考文献:

- [1] De M E, Llamas J F, Chacon E, *et al.* Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead [J]. *Atmospheric Environment*, 1997, **31**(17): 2733-2740.
- [2] Chon H T, Ahn J S, Jung M C. Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 1998, **20**(2): 77-86.
- [3] Sezgin N, Ozcan H K, Demir G, *et al.* Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway [J]. *Environment International*, 2003, **29**(7): 979-985.
- [4] Yeung Z L, Kwokb R C W, Yu K N. Determination of multi-element profiles of street dust using energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) [J]. *Applied Radiation and Isotopes*, 2003, **58**(3): 339-346.
- [5] Ahmed F, Ishiga H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(21): 3835-3844.
- [6] 张菊, 邓焕广, 陈振楼, 等. 上海市区街道灰尘重金属污染研究[J]. *土壤通报*, 2007, **38**(4): 727-731.
- [7] 李崇, 李法云, 张营, 等. 沈阳市街道灰尘中重金属的空间分布特征研究[J]. *生态环境*, 2008, **17**(2): 560-564.
- [8] Ewen C, Anagnostopoulou M A, Ward N I. Monitoring of heavy metal levels in roadside dusts of Thessaloniki, Greece in relation to motor vehicle traffic density and flow [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, **157**(1-4): 177-186.
- [9] Tsogas G Z, Giokas D L, Vlessidis A G. Graphite furnace and hydride generation atomic absorption spectrometric determination of cadmium, lead, and tin traces in natural surface waters: study of preconcentration technique performance [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **163**(2-3): 988-994.
- [10] 雷蕾, 陈玉成, 李章平, 等. 我国城市街道灰尘中重金属的成分分析[J]. *安全与环境学报*, 2012, **12**(2): 124-129.
- [11] Goddu S R, Appel E, Jordanova D, *et al.* Magnetic properties of road dust from Visakhapatnam (India)—relationship to industrial pollution and road traffic [J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2004, **29**(13-14): 985-995.
- [12] 王冠, 夏敦胜, 刘秀铭, 等. 兰州市城市街道尘埃磁学特征时空变化规律[J]. *科学通报*, 2008, **53**(4): 446-455.
- [13] Wang G, Oldfield F, Xia D S, *et al.* Magnetic properties and correlation with heavy metals in urban street dust: A case study from the city of Lanzhou, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **46**: 289-298.
- [14] Bućko M S, Magiera T, Johanson B, *et al.* Identification of magnetic particulates in road dust accumulated on roadside snow using magnetic, geochemical and micro-morphological analyses [J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(6): 1266-1276.

- [15] Durža O. Heavy metals contamination and magnetic susceptibility in soils around metallurgical plant[J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 1999, **24**(6): 541-543.
- [16] Jeleńska M, Hasso-Agopsowicz A, Kopcewicz B, *et al.* Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine[J]. *Geophysical Journal International*, 2004, **159**(1): 104-116.
- [17] Hay K L, Dearing J A, Baban S M J, *et al.* A preliminary attempt to identify atmospherically-derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1997, **22**(1-2): 207-210.
- [18] Blundell A, Dearing J A, Boyle J F, *et al.* Controlling factors for the spatial variability of soil magnetic susceptibility across England and Wales[J]. *Earth-Science Reviews*, 2009, **95**(3-4): 158-188.
- [19] Blundell A, Hannam J A, Dearing J A, *et al.* Detecting atmospheric pollution in surface soils using magnetic measurements: A reappraisal using an England and Wales database[J]. *Environmental Pollution*, 2009, **157**(10): 2878-2890.
- [20] Canbay M, Aydin A, Kurtulus C. Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey) [J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2010, **70**(1): 46-57.
- [21] Karimi R, Ayoubi S, Jalalian A, *et al.* Relationships between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoils in the arid region of Isfahan, central Iran [J]. *Journal of Applied Geophysics*, 2011, **74**(1): 1-7.
- [22] Maher B A, Thompson R. *Quaternary climates, environments and magnetism* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 49-53.
- [23] Thompson R, Oldfield F. *Environmental magnetism* [M]. London: Allen and Unwin, 1986. 1-227.
- [24] Evans M E, Heller F. *Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics* [M]. London: Academic Press, 2003. 68-77.
- [25] Liu Q S, Roberts A P, Larrasoaña J C, *et al.* Environmental magnetism: principles and applications [J]. *Reviews of Geophysics*, 2012, **50**(4), doi: 10.1029/2012RG000393.
- [26] 王利军, 卢新卫, 雷凯, 等. 宝鸡市街尘重金属元素含量、来源及形态特征[J]. *环境科学*, 2011, **32**(8): 2470-2476.
- [27] Kruiver P P, Dekkers M J, Heslop D. Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, **189**(5): 269-276.
- [28] Dankers P. Relationship between median destructive field and remanent coercive forces for dispersed natural magnetite, titanomagnetite and hematite [J]. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 1981, **64**(2): 447-461.
- [29] Muxworthy A R, King J G, Heslop D. Assessing the ability of first-order reversal curve (FORC) diagrams to unravel complex magnetic signals [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, **110**(B1), doi: 10.1029/2004JB003195.
- [30] Dunlop D J, Özdemir Ö. *Rock magnetism: Fundamentals and frontiers* [M]. New York: Cambridge University Press, 1997.
- [31] Dearing J A. *Environmental magnetic susceptibility: Using the bartington MS2 system* [M]. (2nd ed.). Kenilworth: Chi Publishing, 1999.
- [32] Roberts A P, Pike C P, Verosub K L. First-order reversal curve diagrams: A new tool for characterizing the magnetic properties of natural samples [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2000, **105**(B12): 28461-28475.
- [33] Pike C R, Roberts A P, Dekkers M J, *et al.* An investigation of multi-domain hysteresis mechanisms using FORC diagrams [J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 2001, **126**(1-2): 11-25.
- [34] 赵永椿, 张军营, 魏凤, 等. 燃煤飞灰中磁珠的显微结构特征观察[J]. *电子显微学报*, 2005, **24**(5): 474-478.
- [35] Lu X W, Li L Y, Wang L J, *et al.* Contamination assessment of mercury and arsenic in roadway dust from Baoji, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(15): 2489-2496.

CONTENTS

Pollution of Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmospheric Particulate Matters of Shenzhen	SUN Jian-lin, CHANG Wen-jing, CHEN Zheng-xia, <i>et al.</i> (1513)
Emission Characteristics of VOCs from Typical Restaurants in Beijing	CUI Tong, CHENG Jing-chen, HE Wan-qing, <i>et al.</i> (1523)
Characteristics Analysis of Sulfur Dioxide in Pearl River Delta from 2006 to 2010	LI Fei, TAN Hao-bo, DENG Xue-jiao, <i>et al.</i> (1530)
Comparison Test Between PM _{2.5} Continuous Monitoring System and Manual Sampling Analysis for PM _{2.5} in Ambient Air	WANG Qiang, ZHONG Qi, CHI Ying, <i>et al.</i> (1538)
Determination and Emission of Condensable Particulate Matter from Coal-fired Power Plants	PEI Bing (1544)
Potential Carbon Fixation Capability of Non-photosynthetic Microbial Community at Different Depth of the South China Sea and Its Response to Different Electron Donors	FANG Feng, WANG Lei, XI Xue-fei, <i>et al.</i> (1550)
Remote Sensing Estimation of Chlorophyll-a Concentration in Inland Lakes Based on GOCI Image and Optical Classification of Water Body	FENG Chi, JIN Qi, WANG Yan-nan, <i>et al.</i> (1557)
Hydrochemical Characteristics and Sources of Qingshuijiang River Basin at Wet Season in Guizhou Province	LÜ Jie-mei, AN Yan-ling, WU Qi-xin, <i>et al.</i> (1565)
Temporal-spatial Variation and Source Identification of Hydro-chemical Characteristics in Shima River Catchment, Dongguan City	GAO Lei, CHEN Jian-yao, WANG Jiang, <i>et al.</i> (1573)
Response and Control Factors of Groundwater to Extreme Weather, Jiguan Cave, Henan Province, China	LIU Xiao, YANG Yan, PENG Tao, <i>et al.</i> (1582)
Impact of Rocky Desertification Treatment on Underground Water Chemistry and Dissolved Inorganic Carbon Isotope in Karst Areas	XIAO Shi-zhen, XIONG Kang-ning, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (1590)
Difference of Karst Carbon Sink Under Different Land Use and Land Cover Areas in Dry Season	ZHAO Rui-yi, LIANG Zuo-bing, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (1598)
Vertical Migration Characteristics of Organochlorine Pesticides in Overlying Soil in Karst Terranes and Its Impact on Groundwater	SUN Yu-chuan, WANG Yong-qi, LIANG Zuo-bing, <i>et al.</i> (1605)
Pollution Status and Migration of Mercury in the Sediments of Nansi Lake in Shandong Province	CAO Fei-fei, YANG Li-yuan, PANG Xu-gui, <i>et al.</i> (1615)
Response of Sediment Micro Environment and Micro Interface to Physical Disturbance Intensity Under the Disturbance of <i>Chironomus plumosus</i>	SHI Xiao-dan, LI Yong, LI Da-peng, <i>et al.</i> (1622)
Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition and Associated Impact on N Transport in the Watershed of Red Soil Area in Southern China	HAO Zhuo, GAO Yang, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (1630)
Effect of Different Purple Parent Rock on Removal Rates of Nitrogen, Phosphorus and Organics in Landscape Water	HUANG Xue-jiao, LIU Xiao-chen, LI Zhen-lun, <i>et al.</i> (1639)
Effects of <i>Litchi chinensis</i> Defoliation on Growth and Photosynthesis of <i>Microcystis aeruginosa</i>	WANG Xiao-xiong, JIANG Chen-chun, LI Jin-wei, <i>et al.</i> (1648)
Toxicity of <i>Coptis chinensis</i> Rhizome Extracts to Green Algae	CHEN Ya-nan, YUAN Ling (1655)
Formation Mechanism of the Disinfection By-product 1,1-Dichloroacetone in Drinking Water	DING Chun-sheng, MENG Zhuang, XU Yang-yang, <i>et al.</i> (1662)
Degradation Kinetics and Formation of Disinfection By-products During Linuron Chlorination in Drinking Water	LING Xiao, HU Chen-yan, CHENG Ming, <i>et al.</i> (1668)
Interference for Various Quench Agents of Chemical Disinfectants on Detection of Endotoxin Activities in Water	ZHANG Can, LIU Wen-jun, SHI Yun, <i>et al.</i> (1674)
Ammonium Adsorption Characteristics in Aqueous Solution by Dairy Manure Biochar	MA Feng-feng, ZHAO Bao-wei, DIAO Jing-ru, <i>et al.</i> (1678)
Absorption of Uranium with Tea Oil Tree Sawdust Modified by Succinic Acid	ZHANG Xiao-feng, CHEN Di-yun, PENG Yan, <i>et al.</i> (1686)
Effect of Membrane Wettability on Membrane Fouling and Chemical Durability of SPG Membranes	ZHANG Jing, XIAO Tai-min, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (1694)
TiO ₂ -Induced Photodegradation of Levofloxacin by Visible Light and Its Mechanism	GUO Hong-sheng, LIU Ya-nan, QIAO Qi, <i>et al.</i> (1700)
Performance of Novel Macromolecule Flocculant in the Treatment of Wastewater Containing Cr(VI) Ions	WANG Gang, DU Feng-ling, CHANG Qing, <i>et al.</i> (1707)
On-line Estimation for the Amount of Stored PHA in Activated Sludge Based on OUR-HPR Measurements	ZENG Shan-wen, WANG Ze-yu, GAO Jing, <i>et al.</i> (1713)
Formation Mechanism of Self-forming Dynamic Membrane During Separation of High-concentration Sewage Sludge Fermented for Acid Production	HUANG Shuai, LIU Hong-bo, YIN Bo, <i>et al.</i> (1720)
Influence of Air Flux on Municipal Sludge Biodrying in a Pilot Scale Test	ZHANG Yu, HAN Rong, LU Wen-jing, <i>et al.</i> (1727)
Extraction of Heavy Metals from Sludge Using Biodegradable Chelating Agent <i>N,N</i> -bis(carboxymethyl) Glutamic Acid Tetrasodium	WU Qing, CUI Yan-ru, TANG Xiao-xiao, <i>et al.</i> (1733)
Biodiversity and Function Analyses of BIOLAK Activated Sludge Metagenome	TIAN Mei, LIU Han-lu, SHEN Xin, <i>et al.</i> (1739)
Characteristics of Nitrogen Removal by a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacterium YL	LIANG Xian, REN Yong-xiang, YANG Lei, <i>et al.</i> (1749)
Biodegradation Characteristics and Kinetics of <i>p</i> -nitrophenol by Strain <i>Arthrobacter</i> sp. CN2	REN Lei, SHI Yan-hua, JIA Yang, <i>et al.</i> (1757)
Biodegradation of Pyrene by Intact Cells and Spores of <i>Brevibacillus brevis</i>	LIU Zhi-chen, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i> (1763)
Investigation of Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in Landfill	LI Lei, XU Jing, ZHAO You-cai, <i>et al.</i> (1769)
Investigation of Antibiotic Resistance of Indigenous Bacteria and Abundance of Class I Integron in Matrix of Constructed Wetlands of Different Configurations	MAI Xiao-bei, TAO Ran, YANG Yang, <i>et al.</i> (1776)
Effects of Nitrate and CH ₄ on Anaerobic Oxidation of BETX in Landfill Cover Soils	LIU Rong, LONG Yan, WANG Li-li, <i>et al.</i> (1785)
Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Planted Larch Forest in Shanxi Plateau	YAN Jun-xia, LI Hong-jian, LI Jun-jian, <i>et al.</i> (1793)
Effects of Nitrogen Fertilization on Soil Respiration and Temperature Sensitivity in Spring Maize Field in Semi-Arid Regions on Loess Plateau	JIANG Ji-shao, GUO Sheng-li, WANG Rui, <i>et al.</i> (1802)
Distribution Characteristics of Heavy Metals in the Street Dusts in Xuanwei and Their Health Risk Assessment	ZHANG Wen-chao, LÜ Sen-lin, LIU Ding-yu, <i>et al.</i> (1810)
Spatial Distribution of Magnetic Properties of Street Dust in Baoji City and Its Implications of Environment	ZHANG Jun-hui, WANG Jin, ZHANG Jian, <i>et al.</i> (1818)
Effect of Long-term Fertilizer Application on the Stability of Organic Carbon in Particle Size Fractions of a Paddy Soil in Zhejiang Province, China	MAO Xia-li, LU Kou-ping, SUN Tao, <i>et al.</i> (1827)
Effects of Different Reclaimed Scenarios on Soil Microbe and Enzyme Activities in Mining Areas	LI Jun-jian, LIU Feng, ZHOU Xiao-mei (1836)
Soil Microorganism Characteristics and Soil Nutrients of Different Wetlands in Sanjinag Plain, Northeast China	XIAO Ye, HUANG Zhi-gang, WU Hai-tao, <i>et al.</i> (1842)
Strengthening Effects of Sodium Salts on Washing Kerosene Contaminated Soil with Surfactants	HUANG Zhao-lu, CHEN Quan-yuan, ZHOU Juan, <i>et al.</i> (1849)
Effects and Biological Response on Bioremediation of Petroleum Contaminated Soil	YANG Qian, WU Man-li, NIE Mai-qian, <i>et al.</i> (1856)
Enhanced Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soils Using <i>Sedum alfredii</i> Hance with Biodegradable Chelate GLDA	WEI Ze-bin, CHEN Xiao-hong, WU Qi-tang, <i>et al.</i> (1864)
Speciation Characteristics and Bioavailability of Heavy Metals in Oasis Soil Under Pb, Zn Combined Stress	JIN Cheng, ZHAO Zhuan-jun, NAN Zhong-ren, <i>et al.</i> (1870)
Influence of Sulfur on the Formation of Fe-Mn Plaque on Root and Uptake of Cd by Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	WANG Dan, LI Xin, WANG Dai-chang, <i>et al.</i> (1877)
Effects of Ozone on Photosynthesis of Several Plants	LI Miao-miao (1888)
A Method Research on Environmental Damage Assessment of a Truck Rollover Pollution Incident	CAI Feng, ZHAO Shi-bo, CHEN Gang-cai, <i>et al.</i> (1902)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年5月15日 第36卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 5 May 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行